# 지능형 교통 시스템을 위한 형태학적 차량 분류 알고리즘

김 기 석[†]

**요 약**

제한된 도로 여건 하에서 대중 교통 활성화를 위해 전용차로 운영을 위한 지능형 무인 관리 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 수리 형태학적 영상 처리 및 인식 기법을 적용하여 차량 검지 자동화 시스템을 연구하였다. 배경과 분리된 차량 객체 영상을 추출하였으며, 형태학적 골격을 분석하여 골격 히스토그램으로부터 차종 분류를 위한 새로운 유일 가중 골격 특징을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 제안한 차종 분류 알고리즘이 승용차, 트럭 등의 차종 인식에 효과적임을 볼 수 있었다.

# Morphological Vehicle Classification Algorithm for Intelligent Transportation System

Giseok Kim[†]

**ABSTRACT**

It is necessary to induce for using mass transit instead of passenger car, which is high occupied roadway. It is necessary to develop the automated enforcement system to do manage such things. There are lots of problems to enforce the exclusive roadway. One of the biggest problem is the difficulty of vehicle classification. In this paper, morphological vehicle classification algorithm is proposed. Vehicle object is separated from background using frame difference, then the proposed unique weighted skeleton feature is extracted. The experiments show that the vehicle identification results produced by weighted skeleton feature seem to be good quality.

**Key words:** 영상 처리, 패턴 인식, 차량 형태, ITS, 차종 인식, 수리 형태학

## 1. 서 론

오늘날 세계의 대도시는 심각한 교통체증으로 도시의 기능이 마비될 지경에 이르고 있다. 이러한 교통혼잡의 직접적인 원인은 도로를 이용하는 자동차의 대수는 급격히 증가하는 반면에 도로율의 증가는 상대적으로 낮은 수준에 있기 때문이다. 그리고 또 하나의 원인은 승차인원이 많은 버스의 증가보다는 도로점유율이 높은 개인용 승용차의 증가율이 월등하게 높은 것이며, 이러한 증가는 한정된 도로 면적의 이용 효율을 감소시키고 있다. 따라서 제한된 도로용량 하에서의 원활한 소통을 유지하기 위해서는 도로 점유율이 높은 승용차보다는 승차인원이 많은 버스의 이용을 적극 유도할 필요가 있으며 이를 위하여 버스에 도로통행의 우선권을 부여함으로써 서비스 수준을 향상시키는 제도가 시도되어 왔다. 1970년 이래 많은 나라에서 승용차 수요 관리 및 교통수단 전이를 위해서 전용차로 및 버스 우선 신호를 실시하고 있으며, 최근에는 첨단 대중교통체계의 중요성에 대해서도 인식을 같이하고 있다. 그리고 요즈음 버스 전용차로를 확대 발전시켜 도로의 효율을 증가시키자는 주장이 나오고 있다. 그러나 운전자의 잘못된 인성과 관리 효율성 저하로 극대화를 하지 못하고

이 논문은 1999년도 학술진흥재단의 연구비에 위하여 연구되었음. (KRF-99-003-E00357)

[†] 정회원, 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수

있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 운영 강화 방안으로 무인단속시스템 개발이 필요하다. 즉 장비의 과학화로 효율적인 단속을 함으로써, 운전자의 질서의식을 고취하여 위반차량의 감소를 유도하고 대중교통수단을 활성화함으로써 궁극적으로 교통 지체에 따른 제반 사회비용을 감소시키는데 기여할 것이다[1]. 자동교통단속시스템을 지능형 교통 시스템(ITS : Intelligent Transportation System)과 연계하여 구축한다면 21세기 정보화시대에 부합되는 교통체계로서 거시적으로는 도로이용효율을 극대화하고 안전성을 제고시키며, 미시적으로는 운전자를 포함한 국민 개개인에게 최대의 편익을 제공할 수 있을 것이다[2].

그러나 현실적으로 전용차로를 관리하기 위해서는 문제점이 많은데, 그 대표적인 어려움이 차종 분류이다. 현재까지 차량의 윤곽선 추출이나 차량 탐지(detection)를 위한 연구는 상당히 진척되고 있으나, 차량의 형태(shape)와 크기(size)를 기반으로 한 차종 인식 및 분류에 관한 연구는 미미한 상태이며, 특히 이러한 방법을 대중 교통 체계에 접목시키지 못하고 있는 현실이다[3-5]. 따라서 이에 대한 연구가 시급히 요구되어진다고 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 형태 표현 알고리즘을 적용하여 무인 단속 카메라에 의한 차량 검지 자동화 시스템을 연구하였다. 수리 형태학(mathematical morphology)을 이용하여 차량의 형태와 크기 등의 특징(feature)을 효율적으로 추출하여 차종 분류를 용이하게 하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 차 영상(difference image)을 이용하여 차량 객체를 배경과 분리하였다. 특히, 형태 표현에 효과적인 형태학적 골격 변환(morphological skeleton transform)을 위한 형태소(structuring element)별 분석과 형태소별 면적을 고려한 간단한 유일(unique) 가중 골격 특징(weighted skeleton feature)을 제안하여 차종 인식을 용이하게 하였다. 이러한 수리 형태학적 영상 분석은 직접적인 기하학적 해석이 가능하며 단순하고 하드웨어 구현 시 효율적이다[6,7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 관련 수리 형태학적 표현을 기술하고 형태학적 특징 추출 기법의 과정 및 특성을 정리하며, 제 3장에서는 차종 인식을 위한 특징 추출 알고리즘을 제시한다. 제 4장에서는 실 영상에 대한 실험 및 고찰을 하고, 제 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 수리 형태학

### 2.1 형태학적 연산

집합 이론에 기반한 수리 형태학은 디지탈 영상 해석 및 처리에 효과적인 방법을 제공한다[6-11]. 즉, 영상에서 물체에 대한 형태, 크기, 대비(contrast) 및 연결성(connectivity) 등의 다양한 특징을 추출할 수 있다. 또한 영상에서 동질성(homogeneity)과 연속성을 만족하는 부분에 대한 특징의 추출이 효과적이므로 영상 분할 및 형태 표현이 용이하다.

수리 형태학의 두 가지 기본 연산은 dilation과 erosion이다. $E^N$은 모든 점, $p=\{x_1, x_2, \cdots, x_N\}$,의 집합이며, $A$와 $B$는 $E^N$의 부분집합일 때, 형태소 $B$에 의한 $A$의 이진 dilation은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A \oplus B &= \{\, c \in E^N \mid c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B \,\} \\ &= \bigcup_{b \in B} (A)_b = \bigcup_{a \in A} (B)_a \\ &= B \oplus A \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $(A)_b$는 $b$에 의한 $A$의 변위(translation)이다. 그리고 $B$에 의한 $A$의 이진 erosion은

$$\begin{aligned} A \ominus B &= \{\, x \in E^N \mid x + b \in A \text{ for every } b \in B \,\} \\ &= \bigcap_{b \in B} (A)_{-b} \\ &= \{\, x \in E^N \mid (\check{B})_x \subseteq A \,\} \end{aligned} \quad (2)$$

이다.

Dilation과 erosion에 의해 closing과 opening이 정의된다.

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (3)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

그리고 $n$차 다중척도(multiscale) closing과 opening은

$$A \cdot nB = (A \oplus nB) \ominus nB \quad (5)$$

$$A \circ nB = (A \ominus nB) \oplus nB \quad (6)$$

$$nB = B \oplus B \oplus \cdots \oplus B, \quad (n-1 \text{ times dilations}) \quad (7)$$

이다. 이진 형태학적 연산은 최소(minimum) 또는 최대(maximum) 연산을 사용함으로써 휘도(gray scale)

영상으로 자연스럽게 확장된다. $f: F \rightarrow E$이고 $k: K \rightarrow E$이면 휘도 dilation과 erosion은

$$f \oplus k(x) = \max_{x-z \in F, z \in K} \{ f(x-z) + k(z) \} \quad (8)$$

$$f \ominus k(x) = \min_{x+z \in F, z \in K} \{ f(x+z) - k(z) \} \quad (9)$$

이다. 유사하게 closing, opening 등이 다음과 같이 정의된다.

$$f \cdot k = (f \oplus k) \ominus k \quad (10)$$

$$f \circ k = (f \ominus k) \oplus k \quad (11)$$

$$f \cdot nk = (f \oplus nk) \ominus nk \quad (12)$$

$$f \circ nk = (f \ominus nk) \oplus nk \quad (13)$$

$$nk = k \oplus k \oplus \cdots \oplus k, \quad (n-1 \text{ times dilations}) \quad (14)$$

### 2.2 형태학적 골격 변환 (MST : Morphological Skeleton Transform)

골격 변환은 객체의 형태와 크기를 보존하는 치밀하고 구조적인 표현 기법이다[12-14]. 골격 변환 과정과 복원에 3차원적인 형태학적 연산이 적용된다. 이산적 이진 영역 $X$에 대한 형태학적 골격 $SK(X)$는 다음과 같이 구해진다.

$$SK(X) = \bigcup_{n=0}^{N} S_n(X) = \bigcup_{n=0}^{N} [(X \ominus nB) - [(X \ominus nB) \circ B]] \quad (15)$$

여기서 $N = \max\{n: X \ominus nB \neq \varnothing\}$이고 " $-$"는 차집합 연산이다. $S_n$은 $X$의 $n$차 골격 부분집합이라 하고, 원 영상은 아래와 같이 복원 가능하다.

$$X \circ kB = \bigcup_{k \le n \le N} S \oplus nB, \quad 0 \le k \le N \quad (16)$$

만약 $k=0$이면, 모든 골격 요소가 복원에 사용되며 $X \circ kB = X$이다(exact reconstruction). 그리고 $k=m$, $m>0$이면, $mB$에 의한 $X$의 opening을 얻게 된다(smoothed version).

모든 골격 부분집합 $S_n$에 포함된 정보는 아래에 정의된 형태학적 골격 함수(SKF : morphological skeleton functions)로 완벽히 표현할 수 있다[14].

$$[SKF(X)](x,y) = \begin{cases} n+1, & (x,y) \in S_n(X) \\ 0, & (x,y) \notin S_n(X) \end{cases} \quad (17)$$

큰 SKF 값의 골격 점으로부터 변환된 화소들은 객체의 주요 몸체를 표현하며, 작은 SKF 값은 윤곽의 미세 화소를 나타낸다. 그러므로, 객체는 큰 SKF 값의 골격 점들로부터 신속히 복원하고, 점차적으로 미세한 부분을 완성해 갈 수 있다. 그림 1에서 3×3 Rhombus 형태소를 이용한 골격 변환의 예를 볼 수 있다. 그림에서 (a)는 객체 $X$를 나타내며, (b)는 골격 변환 결과 화소이며 $N$은 3이다. 골격 변환 결과 화소별로 식(17)을 적용한 SKF는 (c)와 같다. (d)에서 (f)는 각각 형태소 $3B$, $2B$, 및 $B$에 의한 복원 과정을 보인다. 즉, 복원 순서는 $n$이 3, 2, 1, 0로 변하며, (d), (e), (f), (a)의 과정으로 복원되며, $n$이 클수록 객체의 주요 부분을 나타낸다.

### 2.3 형태학적 패턴 스펙트럼 (Morphological Pattern Spectrum)

일반적 인식 기법들 중, 모양과 크기 정보를 가장

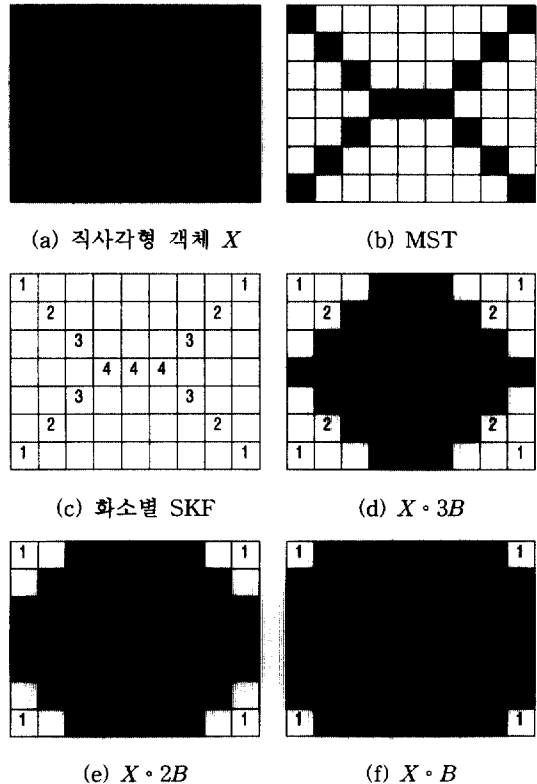



그림 1. Rhombus 형태소에 의한 MST와 SKF 및 복원 과정

효율적으로 추출하는 기법은 형태학적 알고리즘이다. 형태학적 기법 중 골격화 관련 알고리즘과 패턴 스펙트럼[15]을 고려할 수 있다.

$A(\cdot)$가 유한 화소 면적(finite set cardinality)을 나타낼 때, $n$이 증가함에 따라 면적 $A(X \circ {}_nB)$는 유지되거나 감소한다. 다중척도 closing과 opening의 이러한 성질을 이용하여 $X$의 패턴 스펙트럼은 다음과 같이 정의되며,

$$PS_X(+n,B)=A[\ X\cdot nB \setminus X\cdot(n+1)B\ ]\ ,\ n\geq 0$$
$$PS_X(-n,B)=A[\ X\cdot nB \setminus X\cdot(n-1)B\ ]\ ,\ n\geq 1 \tag{18}$$

여기서 '\'는, $S\setminus Q=\{x\in S: x\not\in Q\}$, 즉 차집합을 나타내며 패턴 스펙트럼은 항상 음이 아닌 값이다. 형태학적 패턴 스펙트럼은 객체의 절대적 크기를 추출하고, 모양과 크기에 대한 다양한 정보를 정량화하여, 패턴 정보 추출에는 효과적이다. 하지만, 패턴 스펙트럼을 구하기 위해 다양한 형태소를 사용하여 각 형태소별로 반복적인 closing과 opening 연산을 행해야 하므로 연산량이 많은 단점으로 실시간 추구에 곤란하다는 단점이 있다.

## 3. 차종 인식 알고리즘

### 3.1 차량 객체 분리

차종 인식의 첫 단계로써, 배경과 분리된 차량 객체 추출이 필요하다. 입력된 프레임들로부터 프레임간 차 영상을 통해 차량의 진입을 알 수 있는 변화 감지(change detection)가 가능하다. 변화 감지는 여러 컴퓨터 시각 시스템에서 중요한 역할을 하며, 식 (19)와 같이 구해진다[5]. 즉, 연속적인 $\tau_k$과 $\tau_{k-1}$ 순간의 휘도 영상 $I_k(x,y)$과 $I_{k-1}(x,y)$에 화소별 차를 이용하여 차 영상 $D_k(x,y)$을 구한다.

$$D_k(x,y)=|I_k(x,y)-I_{k-1}(x,y)| \tag{19}$$

이러한 차 영상에 대해 문턱치(threshold)를 적용한 이진 차량 영상 $V$를 얻는다. 이를 통해 배경과 분리된 차량 객체 영상이 얻어지지만, 이 영상에는 배경에 고주파의 잡음과 미세 성분이 존재한다. 이러한 미세 성분의 제거를 위해 형태학적 opening을 적용한 후, 이진 차량 객체 영상 $X$를 구한다.

$$X=V\cdot B \tag{20}$$

본 논문에서 제안한 차종 인식의 전 과정을 그림 2에 나타내었으며, 차량 객체 영상을 얻는 전처리 과정은 그림의 상단 4개 과정이다.

### 3.2 형태학적 골격 특징 추출

분리된 차량 객체에 대해 형태학적 골격 추출 후, 차종 인식을 위한 특징 설정이 필요하다. 영상 인식 시스템에서 특징이 많다고 좋은 것은 아니며, 인식율을 유지하며 적절한 최소의 특징 선택이 시스템의 부하를 고려 시 이상적이다. 여러 골격 정합 알고리즘[13,14]들이 제안되어 왔지만, 차종 인식 같은 제한된 환경 하에서 실시간 처리를 위해 간단한 특징이 효율적이다.

골격 히스토그램(SKH : Skeleton Histogram)과 이를 차종 인식에 적용한 가중 골격 특징(WSF : Weighted Skeleton Feature)을 다음과 같이 제안한다. 식 (21)의 *Card*는 cardinality이다. 골격 히스토그램은 $n$차 골격 부분집합의 개수이다. 즉, 그림 1의 경우 $SKH(0)=4$, $SKH(1)=4$, $SKH(2)=4$, 그리고 $SKH(3)=3$이다. 골격의 히스토그램 분포를 분석한 결과 형태소의 면적에 비례하는 가중 골격 특징을 제안하였으며, 실험에서 우수한 효과를 보았다. 즉, 가중 골격 특징은 형태소의 모양에 따른 객체의 형태와 크기를 구분하는 유일 척도이다.

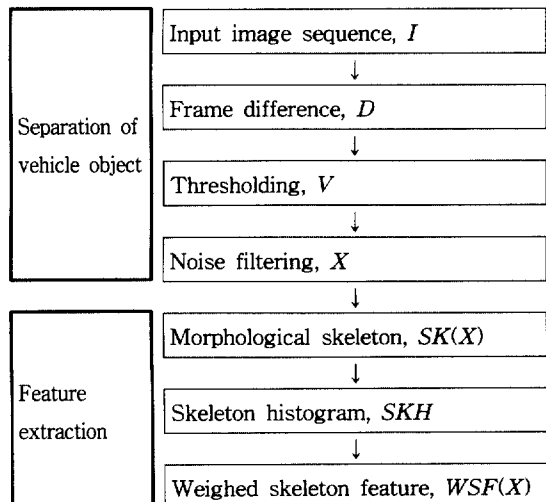



그림 2. 차종 분류를 위한 처리 과정

$$[SKH(n)] = Card(S_n(X)), \qquad n = 0, \cdots, N \quad (21)$$

$$[WSF(X)] = \sum_{n=0}^{N} (n+1)^2 \, SKH(n) \quad (22)$$

골격 부분집합 $S_n$은 객체 $X$의 형태와 크기에 $n$의 제곱에 비례하여 영향을 준다. 즉, 골격화는 형태소의 크기에 의존하는데 erosion 연산 시 삭감되는 비율은 형태소의 면적에 비례하므로 가중치 $n^2$을 부여하였다. 미세 성분 $S_0$를 고려해야 하므로 식 (22)처럼 가중치로 $n^2$ 대신$(n+1)^2$을 사용한다. 제안한 그림 2의 처리 과정을 그림 1의 직사각형 객체에 적용하면, $WSF(X)=1^2\times4+2^2\times4+3^2\times4+4^2\times3=104$이다. 이 값이 그림 1의 객체의 Rhombus 형태소에 의한 유일 고유치인 가중 골격 특징이다.

## 4. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 가중 골격 특징을 이용하여 승용차와 트럭 각각 5개의 영상에 대하여 PC에서 Visual C++로 프로그래밍하여 모의 실험을 하였다. 영상 획득은 SONY VCR-VX2000 Digital Camcoder를 이용하였다. 승용차와 버스는 객체의 크기에서도 워낙 차이가 나기에 객체의 면적이 큰 차이가 없어 상대적으로 구분이 더 어려운 트럭을 사용하여 실험함으로써 알고리즘의 성능을 검증하였다.

실험에서는 큰 폭의 크기 변화를 고려하지 않았는데, 도로상의 무인 감시 시스템이 고정식이므로 실험에서 카메라를 고정시키고 영상을 획득했다. 만약, 크기 변화에 무관한 시스템을 구현하려면, 골격 히스토그램을 정규화한 후 가중 골격 특징을 추출할 수 있다.

승용차와 트럭 영상의 배경, 차량 영상, 및 객체 분리된 영상의 예는 그림 3과 같다. 만약 고속도로 등의 고정 무인 검지 시스템으로 적용한다면, 배경이 평탄한 노면이고 거리가 일정하므로 전 처리 단계인 차량 객체 추출이 훨씬 용이할 것이다. 차량 객체 분리된 영상에 대해 골격 변환 시 사용한 형태소는 그림 4의 Square, Rhombus, 및 Circle을 적용하여 결과를 비교하였다. 그림 4의 형태소들의 원점은 중앙이다. 그림 5는 그림 3의 차량 영상에 대해 그림 4의 Square, Rhombus, 및 Circle을 적용하여 골격 변환 후 구한 $S_n(X)$의 분포를 나타낸 것이다.

그림 3의 차량 객체에 대한 골격 히스토그램을 구

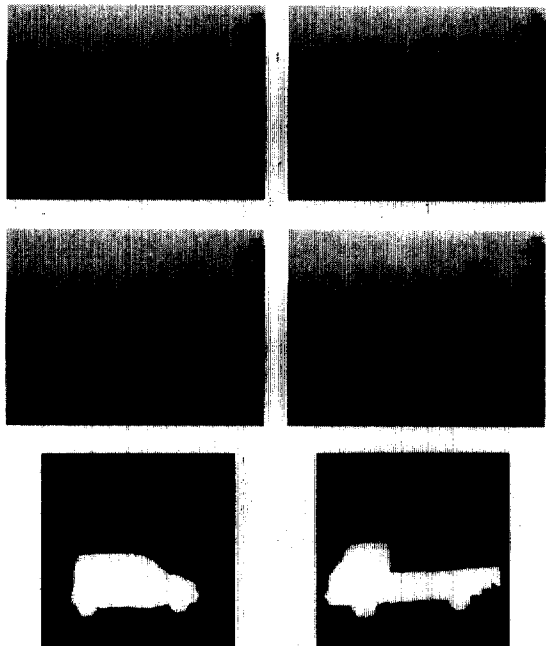



그림 3. 실험에 사용된 영상의 예

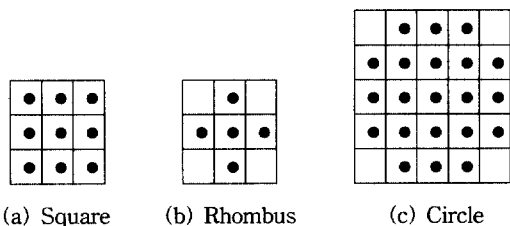



그림 4. 실험에 사용한 형태소

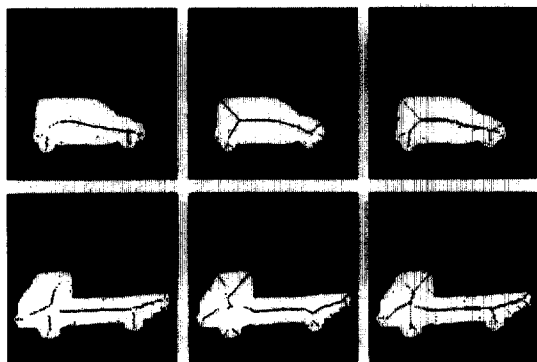



그림 5. 골격화 결과 영상

한 결과 승용차와 트럭에 대하여 각각 그림 6 및 7과 같이 나타났다. 각각의 그림에서 (a)는 Square 형태소, (b)는 Rhombus 형태소, 그리고 (c)는 Circle 형태

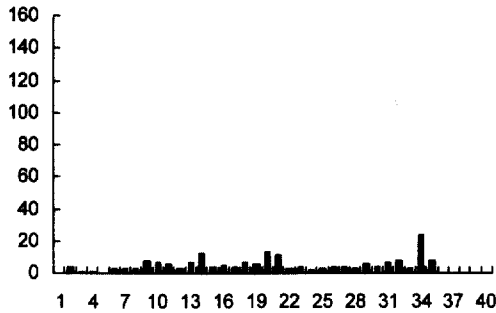
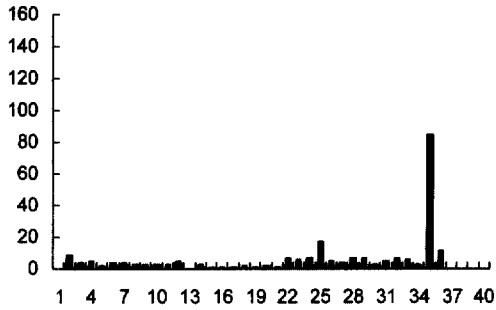
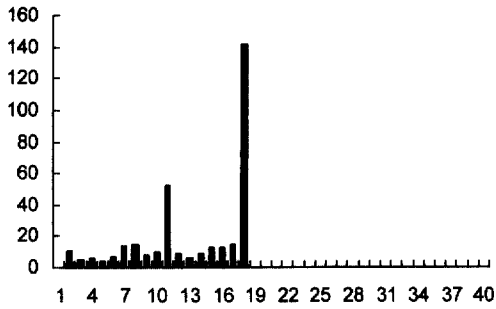



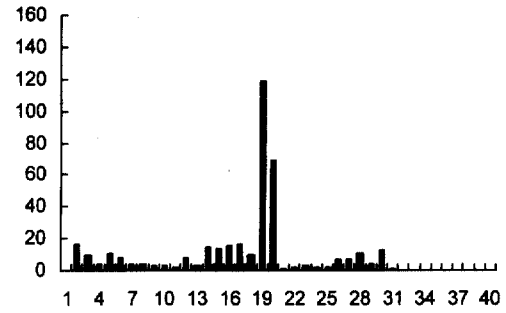
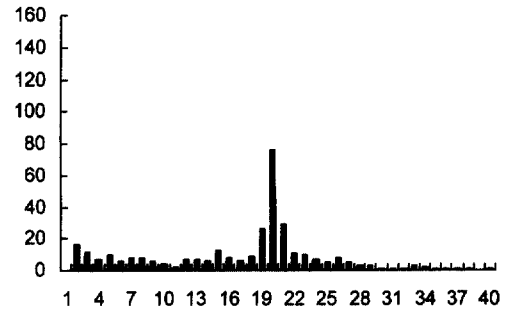
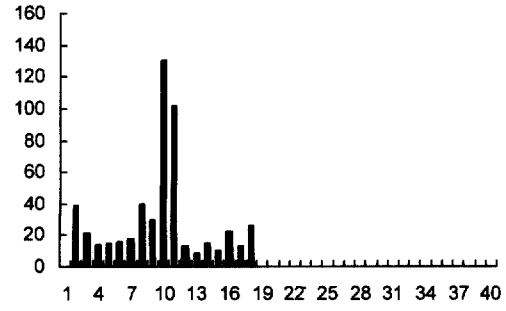
그림 6. 승용차에 Square, Rhombus, 및 Circle 형태소에 의한 SKH의 예

(a)

(b)

(c)

그림 7. 트럭에 Square, Rhombus, 및 Circle 형태소에 의한 SKH의 예.

소에 의한 골격 변환 후의 골격 히스토그램이다. 가로축은 형태소의 크기 $n$이며 세로축은 골격 히스토그램 $SKH(n)$이다. Circle 형태소 적용 시 최대 형태소 크기 $N$이 상대적으로 작은 이유는 나머지 두 개의 형태소가 $n$에 따라 $3\times3$, $5\times5$, $7\times7$, …로 커지나 Circle 형태소의 크기는 $n$이 증가함에 따라 $5\times5$, $9\times9$, $13\times13$으로 커지기 때문이다.

표 1은 승용차와 트럭 각각 5개의 객체 프레임에 대해 골격 히스토그램으로부터 가중 골격 특징 $WSF$를 추출하여 비교한 결과이다. 표에서 보다시피 어느 형태소를 적용해도 차종 인식에는 문제가 없었고, 특히 Rhombus 형태소를 적용 시 우수한 결과를 보이고 있다.

표 1. 형태소에 따른 차종별 가중 골격 특징

| | Square | | Rhombus | | Circle | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 승용차 | 트럭 | 승용차 | 트럭 | 승용차 | 트럭 |
| Frame 1 | 95,688 | 110,276 | 154,207 | 99,494 | 55,488 | 47,008 |
| Frame 2 | 98,766 | 116,077 | 161,461 | 101,437 | 65,368 | 50,656 |
| Frame 3 | 92,350 | 120,485 | 168,077 | 108,645 | 63,126 | 50,262 |
| Frame 4 | 95,366 | 117,781 | 175,843 | 104,551 | 61,910 | 49,159 |
| Frame 5 | 90,632 | 107,712 | 156,198 | 105,644 | 64,401 | 53,146 |
| 평균 | 94,560 | 114,466 | 163,157 | 103,954 | 62,058 | 50,046 |

가중 골격 특징의 평균의 비는 Square 형태소,

Rhombus 형태소, 및 Circle 형태소에 대해 각각 1.21, 1.57, 및 1.24로 Rhombus 형태소를 적용한 결과가 가장 차이가 크고 차종 인식에 용이함을 알 수 있다. Square 형태소 적용 시에만 가중 골격 특징의 크기가 승용차와 트럭에 대해 트럭이 더 크게 나오는 것은 트럭의 차량 형태가 각이 많기 때문이다. 이러한 결과는 그림 6과 7의 (a)에서도 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 지능형 교통 시스템 분야에서 대두되는 문제점 중 하나인 전용차로 운행관리에 필요한 실시간 차종 인식 시스템을 위한 이진 형태 표현을 연구하였다. 특히, 형태학적 골격 히스토그램을 통한 가중 골격 특징을 제안하였고, 실험을 통해 Square 형태소나 Circle 형태소도 차종 인식은 가능하지만, Rhombus 형태소에 의한 골격화가 차종 인식에 효율적임을 보았다. 형태소의 면적을 고려한 가중 골격 특징은 객체의 형태와 크기를 동시에 고려하므로, 유일 특징으로도 효과적으로 차종 인식이 됨을 알 수 있었다.

제안한 알고리즘에서는 영상 해석의 다양한 분야에 효율적인 수리 형태학을 적용하여 차종 구분을 함으로, 지능형 교통 시스템에 적용 시 병렬 처리나 하드웨어 구현도 용이하다. 또한 수리 형태학은 영상의 형태와 크기 등의 정보를 효과적으로 분석하므로 다양한 분야로의 확장 적용이 용이하다.

앞으로의 연구과제는 다양한 배경을 가진 차량 영상으로부터 더욱 효과적으로 차량 객체를 분리하는 방법 연구와 VHDL을 이용하여 하드웨어로 구현하는 것이다. 또한 이진 형태 표현을 휘도 영상과 칼라 영상 표현으로 확장하는 연구를 진행중이다.

## 참 고 문 헌

[1] Editors, "ITS Architecture Development Program," *ITS America*, Nov. 1994.

[2] Ian Catling, "Advanced Technology for Road Transport," *IVHS and ATT*, Artech House, Boston-London, 1994.

[3] T. Zielke, M. Brauckmann, and W. Seelen, "Intensity and Edge-Based Symmetry Detection with an Application to Car-Following," *CVGIP: Image Understanding*, vol.58, no.2, pp.177-190, Sep. 1993.

[4] D. Koller, K. Daniilidis, and H. Nagel, "Model-Based Object Tracking in Monocular Image Sequences of Road Traffic Scenes," *International Journal of Computer Vision*, vol.10, no.3, pp.257-281, 1993.

[5] G. L. Foresti, V. Murino, and C. Regazzoni, "Vehicle Recognition and Tracking from Road Image Sequence," *IEEE Trans. Vehicular Tech*, vol.48, no.1, pp.301-318, Jan. 1999.

[6] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology-vol. I*, Academic Press, London, 1982.

[7] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology-vol. II*, Academic Press, London, 1988.

[8] J. Serra and P. Soille, *Mathematical Morphology and Its Application to Image Processing*, Kliwer Academic Publishers, 1994.

[9] C. R. Giardina and E. R. Dougherty, *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, Prentice Hall, 1988.

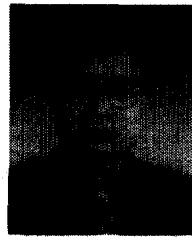
[10] R. M. Haralick, S. R. Sternberg, and X. Zhuang, "Image analysis using mathematical morphology," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol.PAMI-9, pp.532-550, 1987.

[11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

[12] P. E. Trahanias, "Binary Shape Recognition Using the Morphological Skeleton Transform," *Pattern Recognition*, vol.25, no.11, pp.1277-1288, 1992.

[13] R. Kresch and D. Malah, "Morphological Reduction of Skeleton Redundancy," Signal Processing, vol.38, pp.143-151, 1994.

[14] E. A. El-Kwae and M. R. Kabuka, "Binary Object Representation and Recognition Using the Hilbert Morphological Skeleton Transform," *Pattern Recognition*, vol.33, pp.1621-1636, 2000.

[15] P. Maragos, "Pattern spectrum and multiscale shape representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-11, pp. 701-716, July 1989.

김 기 석

1992년 경북대학교 공과대학 전자공학과 공학사
1994년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1997년~현재 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수
관심분야 : 영상 처리, 패턴 인식, 수리 형태학
E-mail : kimgs@kyongju.ac.kr